

บทที่ 7

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

การศึกษาวิจัยกระบวนการออกแบบ และกระบวนการสร้างหัวตรวจวัดก๊าซไอโซนแบบฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ เป้าหมายการวิจัยเพื่อสร้างและพัฒนาหัวตรวจวัดก๊าซไอโซนที่มีความไวของหัวตรวจวัดก๊าซต่อชนิดของก๊าซไอโซนสูงสุด สรุปได้ดังนี้

1. การสร้างไมโครฮีเตอร์จากโลหะแพลทินัม (Pt) โดยมีโลหะไททาเนียม (Ti) เป็นชั้นประสานระหว่างแพลทินัมกับซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) ขนาดความกว้างของเส้น 100 ไมครอน ถูกสร้างลงบนฐานรองซิลิคอนและฐานรองซิลิคอนไดอะแฟรมหนา 100 ไมครอน บนพื้นที่ $2,000 \times 2,000$ ไมครอน เพื่อศึกษาผลของกำลังงานที่ป้อนให้กับไมโครฮีเตอร์และอุณหภูมิที่ได้จากไมโครฮีเตอร์ พบว่า ไมโครฮีเตอร์ที่สร้างบนฐานรองซิลิคอนไดอะแฟรมใช้กำลังงานในการผลิตความร้อนน้อยกว่า ไมโครฮีเตอร์ที่สร้างบนฐานรองซิลิคอน เช่น ที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส ใช้กำลังงานลดลง 18.2 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการลดการสูญเสียของการกระจายความร้อนภายในเนื้อซิลิคอน

2. ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ด้วยระบบอาร์เอฟ สปีดเตอร์ริง และการวิเคราะห์คุณสมบัติเฉพาะต่างๆ ของฟิล์มอินเดียมออกไซด์ ประกอบด้วย การวิเคราะห์คุณสมบัติทางโครงสร้างด้วยเครื่อง XRD, การตรวจสอบพื้นผิวฟิล์มอินเดียมออกไซด์ด้วยเครื่อง SEM, การวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างๆ ด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์, และการวัดผลตอบสนองต่อก๊าซไอโซน ดังนี้

การปลูกฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ด้วยระบบอาร์เอฟ สปีดเตอร์ริง ทำการทดลองปลูกฟิล์มในบรรยากาศของก๊าซผสมอาร์กอน: ออกซิเจน อัตราส่วน 50: 50, 85: 15, และ 100: 0 พบว่า มีอัตราการเคลือบฟิล์มเท่ากับ 48, 60, และ 66 อังสตรอม ต่อนาที ตามลำดับ การวิเคราะห์ฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ด้วยเครื่อง XRD พบยอดของการเลี้ยวเบนเด่นชัด คือ ที่มุม 30.581° องศา แสดงการจัดเรียงตัวของผลึกในระนาบ (222) โดยฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ที่ผ่านการสปีดเตอร์ริงในบรรยากาศก๊าซ Ar: O_2 (100: 0) มีการจัดเรียงตัวของผลึกในระนาบ (222) มากที่สุด โดยมีลักษณะโครงสร้างผลึกที่มีลักษณะแลตทิซแบบลูกบาศก์บอดีเซ็นเตอร์ (body-centered cubic: bcc) และมีค่าคงที่ผลึก (a) เท่ากับ 10.118 อังสตรอม การศึกษาภาพถ่ายผิวหน้าของฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ด้วยเครื่อง SEM พบว่าฟิล์มอินเดียมออกไซด์ที่ผ่านการปลูกฟิล์มในบรรยากาศของก๊าซผสม Ar: O_2 อัตราส่วน 50: 50, 85: 15, และ 100: 0 มีลักษณะผิวหน้าที่สม่ำเสมอประกอบด้วยเม็ดเกรนขนาดเล็ก โดยมีขนาดของเม็ดเกรนเฉลี่ยประมาณ 30 ถึง 60 นาโนเมตร และมีการจัดเรียงคอลลัมน์อย่างเป็นระเบียบ การทดลองวัดผลการตอบสนองของฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ ที่มีต่อก๊าซไอโซนความ

เข้มข้น 10 มิลลิกรัม ต่อชั่วโมง ทดลองวัดผลตอบสนองที่เงื่อนไขในการปลูกฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ที่ผ่านการสปีดเตอร์ริงในบรรยากาศก๊าซผสม Ar: O₂ อัตราส่วน 50: 50, 85: 15, และ 100: 0 ที่ความหนาฟิล์ม 1,000 ถึง 4,000 อังสตรอม พบว่า การปลูกฟิล์มในบรรยากาศก๊าซผสม Ar: O₂ อัตราส่วน 100: 0 ที่ความหนาฟิล์ม 2,000 อังสตรอม มีความไวในการตรวจจับก๊าซไอโซนสูงสุด

การปรับปรุงโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ด้วยกระบวนการแอนนัล โดยนำฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ที่ผ่านการสปีดเตอร์ริงในบรรยากาศก๊าซอาร์กอนบริสุทธิ์ กำหนดความหนาของชั้นฟิล์ม 2,000 อังสตรอม ทำการแอนนัลที่อุณหภูมิ 400, 500, 600, และ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์ฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ด้วยเครื่อง XRD พบยอดของสัญญาณการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ตำแหน่ง 2θ ที่มุม 20 ถึง 60 องศา คือ 21.499, 30.581, 35.467, และ 51.039 มีการจัดเรียงตัวของผลึกในระนาบ (211), (222), (400), และ (440) ตามลำดับ โดยฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ที่ผ่านการแอนนัลที่อุณหภูมิ 500, 600, และ 700 องศาเซลเซียส มีระนาบของ (211), (400), และ (440) เด่นชัดขึ้น เนื่องจากการแอนนัลด้วยความร้อนสูงทำให้เกิดทิกซ์ตันและจัดเรียงโครงสร้างใหม่ที่สมบูรณ์ การวิเคราะห์ลักษณะผิวหน้าของฟิล์มด้วยเครื่อง SEM พบว่า ลักษณะผิวหน้าของฟิล์มประกอบด้วยเม็ดเกรนขนาดเล็กสม่ำเสมอและมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อผ่านการแอนนัลที่อุณหภูมิสูงขึ้น โดยมีขนาดของเม็ดเกรนเฉลี่ยประมาณ 50 ถึง 150 นาโนเมตร เมื่อพิจารณาฟิล์มที่ผ่านการแอนนัลด้วยอุณหภูมิ 500 ถึง 700 องศาเซลเซียส ฟิล์มที่ผ่านการแอนนัลที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีขนาดเม็ดเกรนเล็กที่สุด โดยฟิล์มที่มีเม็ดเกรนขนาดเล็กจะมีความต้านทานกระแสต่ำกว่าและมีบริเวณขอบเกรนมากกว่า ทำให้มีความไวในการตรวจจับก๊าซที่ดีกว่า การศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ด้วยปรากฏการณ์ฮอลล์ จ่ายสนามไฟฟ้า 5,000 เกาส์ และกระแสคงที่ 1 มิลลิแอมแปร์ พบว่า อุณหภูมิการแอนนัลที่ 500 องศาเซลเซียส มีคุณสมบัติในการนำไฟฟ้าที่ดี โดยฟิล์มมีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าต่ำที่สุดเท่ากับ $0.0145 \Omega \cdot \text{cm}$ มีค่าความหนาแน่นประจุพาหะมากที่สุดเท่ากับ $11.1607 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ และเมื่อนำมาวัดผลตอบสนองของฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ที่มีต่อก๊าซไอโซนความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม ต่อชั่วโมง พบว่า ฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ที่ผ่านการแอนนัลด้วยอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส มีค่าความไวในการตอบสนองต่อก๊าซไอโซนสูงสุด เนื่องจากฟิล์มมีโครงสร้างแบบโพลีคริสตัลที่สมบูรณ์ และเม็ดเกรนขนาดเล็ก ส่งผลให้มีพื้นที่ในการทำปฏิกิริยากับก๊าซไอโซนบริเวณขอบเกรนได้มาก โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยารีดักชันเนื่องจากผลของไอออนออกซิเจน ก๊าซทดสอบจะถูกรีดิวซ์ (ดึงอิเล็กตรอนออกจากฟิล์มบาง) ทำให้ค่าความต้านทานของฟิล์มเพิ่มขึ้น

3. ทำการสร้างหัวตรวจวัดก๊าซไอโซนแบบฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ การศึกษาผลของอุณหภูมิทำงานที่ได้จากไมโครฮีเตอร์ของหัวตรวจวัดก๊าซไอโซนขณะตรวจจับก๊าซไอโซน โดยป้อนอุณหภูมิทำงาน 150, 200, 250, 300, และ 350 องศาเซลเซียส ทำการวัดความไวในการตรวจจับก๊าซไอโซนกับหัวตรวจวัดก๊าซ ที่ชั้นฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ผ่านการแอนนัลด้วยอุณหภูมิ 400,

500, 600, และ 700 องศาเซลเซียส พบว่า ฟิล์มที่ผ่านการแอนนัลด้วยอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิทำงาน 350 องศาเซลเซียส มีความไวในการตอบสนองต่อก๊าซไอโซนสูงสุด 95 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการตรวจจับก๊าซ 120 วินาที และใช้เวลาฟื้นคืนสภาพ 30 วินาที

เมื่อทำการเติมสารคะตะไลต์ลงบนเนื้อฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับต่อชนิดของก๊าซไอโซนและลดระยะเวลาในการตอบสนองต่อก๊าซ สารคะตะไลต์ที่ทำการเติมลงบนเนื้อฟิล์ม ประกอบด้วย อลูมิเนียม (Al), พลาเดียม (Pd), แพลทินัม (Pt), และเหล็ก (Fe) พบว่า ฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ที่ผ่านการเติมสารคะตะไลต์ Fe มีความไวในการตอบสนองมากที่สุด เท่ากับ 98 เปอร์เซ็นต์ ใช้เวลาในการตอบสนองต่อก๊าซไอโซน 90 วินาที และใช้เวลาฟื้นคืนสภาพ 30 วินาที จากนั้นจึงนำหัวตรวจวัดก๊าซไอโซนที่ผ่านการเติมสารคะตะไลต์ Fe มาทำการทดลองวัดผลตอบสนองต่อก๊าซไอโซนที่ความเข้มข้น 500, 1000, 2000, และ 4000 ppm โดยปริมาตร พบว่า หัวตรวจวัดก๊าซไอโซนแบบฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ที่สร้างขึ้น สามารถตรวจวัดความเข้มข้นของก๊าซไอโซนที่เปลี่ยนแปลงได้อย่างแม่นยำ

วิจารณ์ผลการทดลอง

การพัฒนาหัวตรวจวัดก๊าซไอโซนแบบฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ ที่ได้ทำการศึกษาและวิจัยนั้น เจาะใจในการเตรียมฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ และการวัดผลตอบสนองที่มีต่อก๊าซไอโซน เป็นข้อมูลที่แสดงถึงความสามารถในการตรวจจับก๊าซไอโซน โดยสามารถปรับปรุงความไวในการตรวจจับก๊าซได้ด้วยการเพิ่มอุณหภูมิขณะทำงานของหัวตรวจวัดก๊าซ และทำการเติมสารคะตะไลต์ให้กับฟิล์มบางเพื่อความสามารถในการตรวจจับต่อชนิดของก๊าซไอโซน และยังสามารถลดระยะเวลาในการตรวจจับก๊าซให้น้อยลง หัวตรวจวัดก๊าซไอโซนแบบฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ที่พัฒนาขึ้นนี้มีความสามารถในการตรวจวัดปริมาณความเข้มข้นของก๊าซไอโซนได้อย่างแม่นยำ ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้งานด้านความปลอดภัยทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม, ห้องวิจัย, และบ้านเรือนที่อยู่อาศัย เป็นต้น

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากอากาศตามธรรมชาติอาจมีอัตราส่วนของก๊าซไนโตรเจน (N_2) และก๊าซออกซิเจน (O_2) ไม่เท่ากันในแต่ละวัน เพื่อความแม่นยำในการผลิตก๊าซไอโซน ควรกำหนดอัตราส่วนของก๊าซผสมระหว่างก๊าซไนโตรเจน: ก๊าซออกซิเจน (79:21 เปอร์เซ็นต์) เพื่อใช้ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] S.M.Sze. Semiconductor Sensors USA, John Wiley & Sons, Inc., 1994
- [2] M.J.Madou and S.Roy Morrison, Chemical Sensing with Solid State Devices, 1988
- [3] Peter Van Zant, Microchip Fabrication, McGraw-Hill International Edition, 4th ed, 2000
- [4] Dieter K. Schroder, Semiconductor Material and Device Characterization, John Wiley & Sons, Inc., 1990
- [5] Richard C. Jaeger, Introduction to Microelectronic Fabrication, Addison-Wesley Publishing Company, Vol. 5, 1989
- [6] Gary S. May and Simon M. Sze, Fundamentals of Semiconductor Fabrication, Wiley John Wiley & Sons, Inc.
- [7] สมเกียรติ ศุภเดช, เซมิคอนดักเตอร์ ฟิสิกส์, 2542
- [8] จริญ ศรีธาราริคุณ, “การพัฒนาthinออกไซด์ก๊าซเซ็นเซอร์แบบฟิล์มบางโดยเทคนิคโซลเจลบนฐานรองซิลิคอน”, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2545
- [9] สุรเชษฐ์ วัฒนไพโรจน์, “การพัฒนาหัวตรวจวัดก๊าซแอมโมเนียแบบฟิล์มบางซึ่งค้อออกไซด์”, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2545
- [10] สมพงษ์ เจริญกิจ และคณะ, “การสร้างหัวตรวจวัดก๊าซซึ่งค้อออกไซด์แบบฟิล์มบางด้วยวิธี อาร์เอฟ สปีดเตอร์ริง”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26, 2546, หน้า 1450-1455
- [11] สมพงษ์ เจริญกิจ และคณะ, “การศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธี อาร์เอฟ สปีดเตอร์ริง”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27, 2547, หน้า 249-253
- [12] S. Chareankid, S. Cheirsirikul, and S. Supadech, “The Development of Ozone Sensor Thin Film Indium Oxide”, SmartMat Conference 2004, p.64-67
- [13] M. Egashira and Y. Shimizu, “Odor Sensing by Semiconductor Metal Oxide”, Sensors and Actuators 1993, p.443-446
- [14] T. Takada, K. Suzuki, and M. Nakane, “Highly Sensitive Ozone Sensor”, Sensors and Actuators 1993, p.404-407

- [15] C. Jimenez, H. T. Sun, and W. Wlodarski, "Preparation of In_2O_3 thin films by sol-gel process for ozone sensing", IEEE 1997, p.450-453
- [16] A.A. Tomchenko, G.P. Harmer, B.T. Marguis, and J.W. Allen, "Semi conducting metal oxide sensor array for the selective detection of combustion gases", Sensors and Actuators 2003, p.126-134
- [17] A. Axelevitch, E. Rabinovitch, and G. Golan, "Characteristics of Indium Oxide films prepared by DC magnetron sputtering", IEEE 1996, p.448-451
- [18] J. Asbalter, S. Karunakaran, and A. Subraahmanyam, "Properties of Indium Oxide thin films prepared by reactive electron beam evaporation technique for EMI control, SEMCEI 1999, p.336-371
- [19] B. H. Wieller, "Space mission Applications of Chemical Micro sensors", IEEE 1997, p.2.2-9 to 2.2-13
- [20] T. K. Starke, "High Sensitivity Ozone Sensors for Environmental Monitoring Produced Using Laser Ablated Nanocrystalline Metal Oxides, IEEE 2002, p.12-19

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายสมพงษ์ เจริญกิจ
วัน เดือน ปี เกิด	16 มีนาคม 2521 ที่ระยอง
ที่อยู่	pts. point 44 ม.2 แขวง/เขต หนองจอก กรุงเทพฯ 10530
ประวัติการศึกษา	2542 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ประสบการณ์การทำงาน

พ.ศ.2545-2546	ผู้ช่วยนักวิจัย ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ (ERC), สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (KMITL)
พ.ศ.2547-ปัจจุบัน	ผู้ช่วยนักวิจัย ศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ (TMEC), ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC), สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA)

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. สมพงษ์ เจริญกิจ, สุรเชษฐ์ วัฒนไพโรจน์, สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล, และ สมเกียรติ สุกเดช, “การสร้างหัวตรวจวัดก๊าซซิงค์ออกไซด์แบบฟิล์มบางด้วยวิธี อาร์เอฟ สปีดเตอร์ริง”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26, พ.ศ.2546, หน้า 1450-1455
2. สมพงษ์ เจริญกิจ, สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล, และ สมเกียรติ สุกเดช, “การศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์ที่เตรียมด้วยวิธี อาร์เอฟ สปีดเตอร์ริง”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27, พ.ศ. 2547, หน้า 249-253
3. Sompong Chareankid, Somsak Cheirsirikul, and Somkiat Supadech, “The Development of Ozone Sensor Thin Film Indium Oxide”, SmartMat Conference 2004, p.64-67
4. สมพงษ์ เจริญกิจ, ชาญเดช หรูนันต์, อัมพร โพธิ์ไย, สมศักดิ์ เชียร์ศิริกุล, และ สมเกียรติ สุกเดช, “การพัฒนาหัวตรวจวัดก๊าซโอโซนแบบฟิล์มบางอินเดียมออกไซด์”, การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 28, พ.ศ. 2548